

Т.М. Сокур

РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ АРГИЛЛИТОВ ВЕРХНЕГО ВЕНДА И НИЖНЕГО КЕМБРИЯ НА ЮГО-ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПЕТРОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

На основе детальной петрографической и геохимической характеристик аргиллитов верхневендского и нижнекембрийского комплексов юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы (Днестровский перикратонный прогиб), используя химические индексы выветривания (CIA), (CIW), индекс степени преобразования плагиоклазов (PIA), индексы выветривания WR, WI-1, WI-2 и соотношение K_2O/Al_2O_3 , устанавливается их фаціальная принадлежность, состав источников сноса, степень химического выветривания, рециклинг с целью реконструкции палеогеографических и палеогеодинамических обстановок.

Ключевые слова: аргиллиты, геохимия, петрохимия, верхний венд, нижний кембрий, Восточно-Европейская платформа.

Введение. Аргиллиты верхневендских, как и нижнекембрийских, отложений на юго-западной окраине Восточно-Европейской платформы (ВЕП) изучали многие исследователи, которые определили их минеральный состав, эпигенетические изменения, приуроченность к определенным стратиграфическим горизонтам. Детальные работы по докембрийским аргиллитам были проведены В.П. Курочкой, впервые установившим степень диагенеза указанных пород и отнесший их к аргиллитам, а не к глинистым сланцам. Л.Г. Ткачук и Э.Я. Жовинский изучили наиболее характерные ассоциации глинистых минералов, свойственные определенным стратиграфическим подразделениям, типоморфные особенности глинистых минералов, их петрографическую характеристику. А.В. Копелиовичем исследованы диагенетические изменения аргиллитов и стадийность этих изменений. Многие стратиграфические и литологические аспекты верхневендских аргиллитов рассмотрены в статьях В.А. Великанова, В.А. Рябенко, Л.В. Коренчук. С появлением новых методических подходов стало возможным дополнить и уточнить некоторые важные моменты относительно современных представлений об осадкообразовании и его постседиментационном преобразовании в данном районе. Детальная литологическая характеристика аргиллитов верхневендских отложений юго-западной окраины ВЕП дана в [6].

Объект, цель и задачи исследования. В настоящей работе ставится задача на основе детальной петрографической и геохимической характеристик установить фаціальную принадлежность аргиллитов верхневендского и нижнекембрийского комплексов, состав источников сноса, характер выветривания, зависимость состава отложений от вулканизма и одновременного влияния интенсивного химического выветривания, степень диагенетического преобразования с целью реконструкции палеогеографических и палеогеодинамических обстановок в пределах Днестровского перикратонного прогиба.

Материалы та методы исследования. В работе был использован массив из 270 химических силикатных анализов аргиллитов из коллекции автора, а также А.В. Сочавы и Л.В. Коренчук (банк литохимических данных Precsed, ИГГД РАН), отобранных из всех структурных единиц стратотипического разреза верхнего венда и нижнего кембрия Днестровского перикратонного прогиба.

Петрохимическая характеристика аргиллитов приведена с учетом классификации и литохимических приемов Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [10], геохимической классификации Негрон М.М. [17]. Для оценки степени химического выветривания породных литотипов были использованы индекс химического выветривания ($CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + NaO + K_2O)] \times 100$)

© Т.М. Сокур, 2013

[19], индекс выветривания ($CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + NaO)] \times 100$) [16], индекс зрелости осадков ($ICV = [(Fe_2O_3 + CaO + NaO + K_2O + MgO + TiO_2) / Al_2O_3]$) [13], ($WR = (CaO + MgO + Na_2O) / TiO_2$) [11], индексы выветривания ($WI-1 = (SiO_2 + CaO) / (Fe_2O_3 + TiO_2)$), ($WI-2 = (SiO_2 + CaO) / (Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2)$) [14], индекс степени преобразования плагиоклазов ($PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)] \times 100$) [15]. Для восстановления химического состава исходного вулканогенного материала была применена TAS-диаграмма [18].

Результаты исследований. По значениям рассчитанных модулей была произведена литохимическая аттестация проанализированных проб, результаты которой отражены в таблице и на соответствующей модульной диаграмме (см. табл. 1, рисунок). Гидролизатный модуль – ГМ ($GM = (TiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + MnO) / SiO_2$) является универсальным для большинства терригенных и кремнистых пород. Чем выше значение гидролизатного модуля, тем более сильное и глубокое выветривание претерпели исходные породы источников сноса, а чем меньше эта величина, тем выше химическая зрелость осадочной породы. ГМ для аргиллитов могилев-подольской серии колеблется в среднем от $0,75 \pm 0,3$ для аргиллитов ямпольских слоев до $0,45 \pm 0,1$ для джуржевских слоев, что согласно модульной диаграмме ГМ—ФМ—ТМ—НКМ (рисунок) по классификации [10] аттестуются как сиаллиты и гидролизаты.

Таблица 1

Модульные значения для верхневендских и нижнекембрийских аргиллитов юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы

МОДУЛИ							
	ГМ	АМ	ТМ	ЖМ	НКМ	ЩМ	ФМ
Кембрий							
Свита							
Хмельницкая	0,34-0,56	0,23-0,40	0,018-0,062	0,29-0,43	0,15-0,32	0,05-0,30	0,11-0,18
Венд							
Каниловская серия							
Слой							
Комаровские	0,37-0,45	0,26-0,32	0,035-0,055	0,30-0,43	0,15-0,27	0,11-0,28	0,11-0,17
Поливановские	0,30-0,36	0,21-0,26	0,043-0,05	0,28-0,36	0,25-0,31	0,53-1,14	0,10-0,13
Дурняковские	0,34-0,44	0,24-0,32	0,026-0,053	0,32-0,56	0,24-0,36	0,43-0,59	0,13-0,21
Кривчанские	0,37-0,47	0,26-0,30	0,036-0,057	0,32-0,49	0,25-0,30	0,32-0,50	0,13-0,210
Староушицкие	0,40-0,47	0,25-0,32	0,05-0,056	0,22-0,49	0,16-0,27	0,33-0,47	0,15-0,18
Кулешовские	0,36-0,47	0,25-0,33	0,044-0,051	0,26-0,48	0,22-0,28	0,37-0,57	0,13-0,21
Шебутинецкие	0,23-0,45	0,21-0,29	0,039-0,045	0,27-0,47	0,23-0,32	0,34-1,25	0,07-0,19
Пилиповские	0,36-0,53	0,27-0,30	0,043-0,05	0,24-0,68	0,16-0,32	0,29-0,50	0,10-0,26
Могилев-Подольская серия							
Калюсские	0,34-0,66	0,27-0,44	0,016-0,055	0,20-0,67	0,14-0,28	0,011-0,11	0,09-0,27
Джуржевские	0,38-0,53	0,28-0,36	0,047-0,093	0,25-0,37	0,10-0,20	0,11-0,54	0,089-0,17
Зиньковские	0,42-0,71	0,26-0,41	0,039-0,10	0,32-0,75	0,15-0,36	0,088-0,72	0,15-0,35
Бронницкие	0,40-0,68	0,24-0,53	0,017-0,067	0,14-0,68	0,23-0,32	0,05-0,42	0,11-0,21
Бернашевские	0,45-0,70	0,34-0,52	0,014-0,097	0,094-0,44	0,16-0,33	0,064-0,54	0,093-0,25
Лядовские	0,52-0,72	0,38-0,46	0,044-0,077	0,20-0,48	0,25-0,54	0,01-0,52	0,13-0,28
Ямпольские	0,52-1,06	0,36-0,51	0,049-0,115	0,35-0,53	0,085-0,18	0,15-0,60	0,17-0,42
Ломозовские	0,36-0,82	0,29-0,55	0,008-0,091	0,14-0,57	0,14-0,32	0,11-1,75	0,069-0,33
Ольчедаевские	Не анализировались в связи с отсутствием аргиллитов						

Аргиллиты каниловской серии и хмельницкой свиты варьируют от $0,43 \pm 0,1$ для пилиповских слоев до $0,32 \pm 0,02$ для поливановских слоев и аттестуются как сиаллиты, т.е. наблюдается определенная тенденция в уменьшении ГМ снизу вверх по разрезу. Наличие гидролизатов в могилев-подольской серии свидетельствует о значительном отделении продуктов гидролиза от кремнезема и о возможном присутствии свободных окислов алюминия в породе, т.е. являются дериватами кор выветривания.

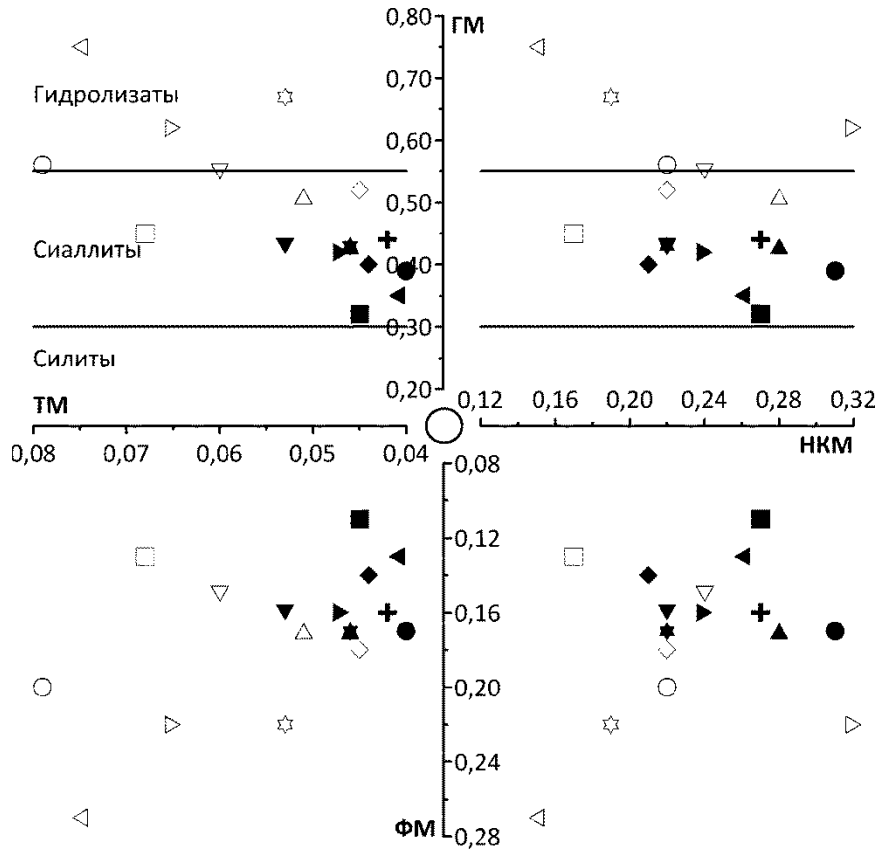


Рис. 1 Сводная модульная диаграмма ГМ—ФМ—ТМ—НКМ [10] для аргиллитов верхнего венда и нижнего кембрия юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы

Кембрий: + — хмельницкая свита.

Венд: ◆ — комаровские слои; ■ — поливановские слои; ● — дурняковские слои; ▲ — кривчанские слои; ▼ — староушицкие слои; ► — кулешовские слои; ◄ — шебутинецкие слои; ★ — пилиповские слои; ◇ — калюские слои; □ — джуржевские слои; ○ — зинковские слои; △ — бронницкие слои; ▽ — бернашевские слои; ▷ — лядовские слои; ◁ — ямпольские слои; ☆ — ломозовские слои

Алюмокремниевый модуль — АМ ($AM = Al_2O_3/SiO_2$) используется в качестве показателя интенсивности процессов осадочной дифференциации вещества. Величина модулей Al_2O_3/SiO_2 и Al_2O_3/Na_2O по мере выветривания должна расти, и, следовательно, числовые значения этих модулей могут служить мерой «химической зрелости» осадка. Согласно АМ для аргиллитов верхнего венда, наблюдается тенденция в сторону уменьшения снизу вверх по разрезу химической зрелости вещества почти в два раза (ломозовские слои — $0,46 \pm 0,05$, комаровские слои — $0,28 \pm 0,03$), а для аргиллитов хмельницкой серии она такая же, как и для аргиллитов комаровских слоев каниловской серии. Низкие значения АМ могут свидетельствовать о поступлении в бассейн осадконакопления «незрелой» кластики, и характеризовать отложения как глубоководные.

Щелочной модуль — ЩМ ($ЩМ = Na_2O/K_2O$), характеризует интенсивность процессов химического выветривания в области размыва. Его значение уменьшается в период усиления выветривания и увеличивается в эпохи его ослабления. Величина этого модуля дает дополнительную информацию об относительной доле глинистого вещества в составе пород. Увеличение ЩМ наблюдается в эпохи наиболее значительного поступления в бассейн седиментации относительно свежего обломочного материала, в котором была высока доля полевых шпатов. Такой рост ЩМ соответствует высокой минералогической

зрелости пород. ЩМ для аргиллитов могилев-подольской серии показывает увеличение калиевых полевых шпатов и калиевых слюд вверх по разрезу с максимальными значениями для ломозовских слоев (от 0,11 до 1,75 единиц). Минимальные значения характерны для калюсского времени (от 0,01 до 0,11), что может свидетельствовать об усилении выветривания пород в источнике сноса. Такое поведение характерно и для аргиллитов комаровских слоев каниловской серии и хмельницкой свиты кембрия.

Модуль нормированной щелочности – НКМ ($\text{НКМ} = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$) содержит информацию о соотношении двух главных типов щелочных алюмосиликатов: полевых шпатов и слюд. Определенной зависимости в распределении значений по разрезу НКМ для аргиллитов как верхнего венда, так и нижнего кембрия юго-западной окраины ВЕП не наблюдается и в среднем составляет $0,24 \pm 0,02$, что показывает их нормощелочность, т.е. является обычным для терригенных пород. Однако НКМ аргиллитов ломозовских, ямпольских и джуржевских слоев значительно понижен, что свидетельствует о преобладании монтмориллонита из кор выветривания, образовавшимся по субстрату амфиболов, пироксенов и хлорита (ФМ и ТМ выше, НКМ ниже, согласно [10]), а также слюд. Повышенный модуль нормированной щелочности в аргиллитах ломозовских, лядовских, бернашевских, бронницких и почти всех слоев каниловской серии, а также в хмельницкой серии, свидетельствует о наличии в отложениях аргиллитов тонкого пирокластического материала [10].

Показатель ТМ = $\text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ для аргиллитов могилев-подольской серии соответствует $0,045 \pm 0,03$, для аргиллитов каниловской серии и хмельницкой свиты ТМ колеблется в пределах $0,040 \pm 0,01$, т.е. в целом отмечается некоторое уменьшение показателя ТМ вверх по разрезу. Согласно [10], аргиллиты аттестуются как нормотитанистые. Однако для аргиллитов ямпольских, лядовских, зиньковских и джуржевских слоев характерны несколько повышенные значения ТМ ($0,075 \pm 0,03$). Это объясняется присутствием в петрофонде данных слоев туфогенного материала.

Железистый модуль (ЖМ) выражает соотношение между железистыми и глиноземистыми продуктами гидролиза. Значения ЖМ для аргиллитов как в могилев-подольской, каниловской серии, так и в хмельницкой свите согласуются с поведением значений НКМ. Так же наблюдается позитивная корреляция величины ЖМ с ТМ и/или с ФМ, что подтверждает вклад вулканогенного вещества в формирование определенных слоев на протяжении поздневендского времени.

На диаграмме ГМ—ФМ—ТМ—НКМ (см. рисунок) фигуративные точки модульных показателей, характеризующие аргиллиты каниловской серии и хмельницкой свиты, располагаются вблизи друг друга, что свидетельствует о схожих и более стабильных геодинамических условиях их формирования относительно могилев-подольского времени.

Основываясь на генетических принципах, для установления типа возможного первичного субстрата аргиллитов дополнительно была построена базовая модульная диаграмма ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) – ГМ по [10]. Точки составов аргиллитов образуют несколько хорошо выраженных субстратных кластеров представленных в табл. 2 а. В кластер мономиктовых кварцевых песчаников пассивной континентальной окраины (I) попадают точки, соответствующие аргиллитам бронницких и пилиповских слоев. В кластер мезомиктовых кварцевых песчаников пассивной континентальной окраины (II) определены точки аргиллитов почти всех рассматриваемых слоев, за исключением нижних слоев могилев-подольской серии. Кластеру аркозовых песчаников активной континентальной окраины (III) соответствуют точки аргиллитов ломозовских, лядовских, бернашевских, бронницких, зиньковских, калюсских слоев могилев-подольской серии, пилиповских, дурняковских каниловской серии и аргиллитов хмельницкой свиты. В кластере древней коры выветривания по магнезиально-железистым основным или ультраосновным породам (IV) сосредоточены точки, определяющие аргиллиты всех слоев могилев-подольской серии, за исключением отложений бронницких слоев, а также староушицких слоев каниловской серии и хмельницкой свиты. На более общей диаграмме М. Негрон [17] с координатами $\log (\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3) - \log (\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{K}_2\text{O})$, без учета конкретных точек отбора проб, преобладающая часть

исследованных образцов составов аргиллитов принадлежит к полю типичных сланцев, существенно меньше фигуративных точек попадает в поля вакк и Fe-песчаников [3].

Таблица 2

Верхневендские и нижнекембрийские аргиллиты юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы:

а) распределение субстратных кластеров согласно диаграммы (Na₂O+K₂O) – ГМ [10];

б) поля согласно модульной диаграммы ФМ – НКМ [10].

	а)	б)
Кембрий		
Свита		
Хмельницкая	II, III, IV	II, III, V
Венд		
Каниловская серия		
Слои		
Комаровские	II	V
Поливановские	II	V
Дурняковские	II, III	V
Кривчанске	II	V
Староушицкие	II, IV	II, V
Кулешовские	II	V
Шебутинецкие	II	V
Пилиповские	I, II, III	II, V
Могилев-Подольская серия		
Калюсские	II, III, IV	II
Джуржевские	II, IV	II, V
Зиньковские	II, III, IV	II, III, V
Бронницкие	I, II, III	IV, V
Бернашевские	III, IV	V
Лядовские	III, IV	III, IV, V, VI
Ямпольские	IV	II, III
Ломозовские	III, IV	III, IV, V

Последующую эволюцию материала, поступающего в бассейн осадконакопления, можно проследить, используя диаграмму ФМ-НКМ [10] (табл. 2 б). В поля аргиллитов с преобладанием монтмориллонита с примесью каолинита и в подчиненном количестве гидрослюд (II) попадают фигуративные точки, отвечающие аргиллитам ямпольских, зиньковских, джуржевских, калюсских слоев могилев-подольской серии, а также в подчиненном количестве пилиповских и староушицких слоев каниловской серии, единичные точки аргиллитов хмельницкой свиты. В поле с преобладанием хлорита и примесью железистых гидрослюдов (III) фиксируются точки аргиллитов ломозовских, ямпольских, лядовских и зиньковских слоев могилев-подольской серии и единичные точки аргиллитов хмельницкой свиты. Полю хлорит-гидрослюдистого состава (IV) соответствуют точки аргиллитов ломозовских, лядовских и бронницких слоев могилев-подольской серии. В поле хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистого состава (V) попадают все фигуративные точки могилев-подольской (за исключением ямпольских и калюсских слоев), каниловской серий и аргиллитов хмельницкой свиты. В поле, отражающее аргиллиты с преимущественно

гидрослюдистым составом с примесью дисперсных частиц полевых шпатов (VI), попадают точки, отвечающие лядовским слоям.

Глинистые минералы очень чувствительны к окружающей физико-химической обстановке. Нарушение установившегося равновесия немедленно влечет за собой их преобразование в соединения, устойчивые в новых условиях. Диагенетические минералы встречаются по всему разрезу верхневендских и нижнекембрийских отложений на юго-западной окраине ВЕП (Днестровский перикратонный прогиб). Однако наблюдается определенная закономерность в приуроченности диагенетической минерализации к определенным стратиграфическим горизонтам. Это обусловлено рядом причин. Формирование осадочных пород представляет собой весьма длительный и сложный процесс, где ведущее положение занимает тектоника и, в частности, режим колебательных движений земной коры, а так же химический состав пород, климат, рельеф местности, гидродинамика и окислительно-восстановительные условия, минерализация вод и другие факторы литогенеза. Каолининовая минерализация характерна для аргиллитов ломозовских, ямпольских, лядовских, бернашевских, джуржевских, калюсских слоев могилев-подольской серии и для аргиллитов даниловской свиты каниловской серии. Карбонатная минерализация проявляется в лядовских, зиньковских, калюсских слоях, а также в аргиллитах жарновской и крушановской свит [4]. Линзовидная фосфатная минерализация обособлена в ломозовских, бернашевских, зиньковских, калюсских и кулешовских слоях [5]. Литиевая минерализация характерна для аргиллитов ямпольских, ольчедаевских, ломозовских слоев [8].

Присутствие в аргиллитах бентонитовых глин в пилиповских, шебутинецких, кулешовских слоях каниловской свиты [7], наличие цеолитов по всему разрезу могилев-подольской серии [2], повышенная магнезиальность глинистых осадков (свыше 2) [10], которая отмечается во всех аргиллитах слоев могилев-подольской (за исключением джуржевских слоев) и каниловской серий, могут выступать в качестве косвенных указаний на наличие вулканогенного материала. Также в минеральной ассоциации пород, слагающих рассматриваемую толщу, большую роль играет и глауконит, который А.В. Ван, Е.А. Предтеченская считают продуктом изменения вулканокластического материала [1]. В песчаниках каниловской серии постоянно присутствуют плагиоклазы эффузивных пород, а также вулканические стекла. На дополнительно построенных диаграммах [10] отмечается четко выраженная позитивная корреляция ЖМ–ТМ и негативная ФМ–НКМ для аргиллитов всех слоев, что является дополнительным аргументом в пользу присутствия вулканогенного материала. Благодаря литохимическим приемам Я.Э. Юдовича [10] можно оценить примесь пирокластики и вулканокластики в составе осадочных пород. Характерно, что для слоев разреза, где установлен вулканогенный материал кислого состава [7, 9] не присутствуют пробы с содержанием $MgO > 3\%$. Данная цифра напрямую свидетельствует о значительной примеси в аргиллитах пиро- и вулканокластики основного состава.

Для восстановления химического состава исходного вулканогенного материала была применена TAS-диаграмма. Точки, отвечающие аргиллитам ломозовских слоев, группируются в полях основного и среднего составов (базальт, трахибазальт, базальтовый трахиандезит, трахиандезит), ямпольских слоев располагаются в полях ультраосновного и основного составов (пикритобазальт, базальт), лядовских слоев – основного и среднего составов (базальт, трахибазальт, базальтовый трахиандезит, трахиандезит, андезит). В бернашевских слоях исходная пирокластика имела средний состав (базальтовый андезит, базальтовый трахиандезит, трахиандезит). В бронницких слоях, наряду с эффузивными породами среднего состава, преобладающей становится пирокластика кислого состава (дацит и риолит). В зиньковское время фиксируется вулканогенный материал основного и среднего составов (базальт, базальтовый андезит и андезит) [7]. Джуржевские слои – среднего и кислого составов (базальтовый андезит, андезит, дацит). Аргиллиты калюсских слоев – среднего состава (базальтовый андезит, андезит). Для аргиллитов каниловской серии характерна группировка фигуративных точек в полях среднего и кислого составов (андезита и дацита). Для пород хмельницкой свиты характерно наличие вулканогенного

Таблица 3
 Пороговые значения индексов CIA, CIW, ICV, PIA, K₂O/Al₂O₃, WR, WI-1, WI-2 для верхневендских и нижнекембрийских аргиллитов юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы

	CIA	CIW	ICV	PIA	K ₂ O/Al ₂ O ₃	WR	WI-1	WI-2
Кембрий								
Свита								
Хмельницкая	73,0-83,2	88,4-97,7	0,48-1,25	50,0-97,1	0,14-0,27	2,9-17,3	2,9-84,9	2,0-4,3
Венд								
Каниловская серия								
Слои								
Комаровские	76,3-79,8	91,4-93,7	0,46-0,61	89,9-92,3	0,16-0,22	2,9-6,5	15,2-50,4	2,7-3,5
Поливановские	74,0-75,3	86,6-86,9	0,62-0,79	84,0-84,5	0,17-0,18	5,5-6,3	12,1-21,4	3,0-3,2
Дурняковские	72,2-77,5	87,4-89,4	0,63-0,75	84,0-87,4	0,17-0,24	5,7-12,7	20,6-21,8	2,7-3,2
Кривчанские	74,0-77,8	87,0-89,9	0,57-0,86	84,3-88,3	0,17-0,21	4,4-9,3	9,3-29,4	2,4-3,3
Староушицкие	74,8-82,0	87,6-91,0	0,61-0,92	85,0-89,9	0,12-0,19	4,0-5,8	7,9-16,2	2,2-2,8
Кулешовские	73,4-78,5	85,1-89,3	0,65-0,87	82,2-87,6	0,14-0,18	5,5-7,0	8,3-12,2	2,3-3,0
Шебутинские	74,6-77,5	81,6-88,5	0,66-0,90	80,0-86,4	0,10-0,20	6,0-7,9	7,7-19,2	2,4-3,5
Пиллиповские	72,4-82,6	87,2-91,5	0,51-0,85	85,7-90,3	0,11-0,23	4,0-6,9	8,7-37,8	2,4-3,3
Могилев-Подольская серия								
Калюские	70,1-88,5	84,9-98,8	0,31-0,87	89,0-98,6	0,10-0,27	1,4-9,9	6,4-65,6	1,6-3,3
Джуржевские	79,0-91,3	88,8-96,5	0,22-0,75	87,3-95,8	0,06-0,26	1,6-5,7	13,3-58,5	1,37-3,1
Зиньковские	65,3-84,6	75,5-98,1	0,39-1,00	70,9-97,3	0,11-0,32	0,9-6,1	6,3-15,3	1,8-2,4
Бронницкие	65,7-80,8	77,4-96,5	0,35-1,45	72,5-95,6	0,16-0,31	1,6-8,5	6,6-48,4	2,4-7,1
Бернашевские	63,0-81,6	77,9-97,1	0,31-1,08	71,2-95,7	0,12-0,31	2,5-8,6	9,4-30,0	2,1-5,6
Лядовские	67,3-84,3	86,2-98,4	0,34-1,1	82,0-97,8	0,11-0,46	1,3-17,5	4,07-81,3	1,4-3,0
Ямпольские	63,3-89,4	68,5-96,0	0,32-0,76	65,5-95,4	0,05-0,14	1,54-6,6	4,8-56,0	1,19-2,6
Ломозовские	76,0-85,3	83,9-96,0	0,30-0,78	82,7-95,3	0,08-0,32	2,4-29,9	4,02-44,0	1,3-3,48
Ольчедаевские	Не анализировались в связи с отсутствием аргиллитов							

материала основного, среднего и кислого составов (базальта, базальтового андезита, андезита и дацита).

Для оценки степени химического выветривания породных литотипов были использованы индекс химического выветривания (CIA = $[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+NaO+K_2O)] \times 100$) [19], индекс выветривания (CIW = $[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+NaO)] \times 100$) [16], индекс зрелости осадков (ICV = $[(Fe_2O_3+CaO+NaO+K_2O+MgO+TiO_2)/Al_2O_3]$) [13], (WR = $(CaO+MgO+Na_2O)/TiO_2$) [11], индексы выветривания (WI-1 = $(SiO_2+CaO)/(Fe_2O_3+TiO_2)$), (WI-2 = $(SiO_2+CaO)/(Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2)$) [14], индекс степени преобразования плагиоклазов (PIA = $[(Al_2O_3-K_2O)/(Al_2O_3+CaO+Na_2O-K_2O)] \times 100$) [15], а также значения отношений K_2O/Al_2O_3 (табл. 3).

Из анализа данных табл. 3 следует, что для аргиллитов могилев-подольской серии индекс интенсивности химического выветривания (CIA) варьирует в широких пределах – от 63,0 до 91,3. Это свидетельствует о том, что поступавший терригенный материал имел различную степень выветривания пород в источнике сноса, а также о нескольких источниках сноса и дальности их нахождения. Согласно [19], индекс CIA, находящийся в интервале 60-75, отражает умеренное выветривание – режим, типичный для формирования минералов группы монтмориллонита, мусковита, иллита, смектита. Аргиллиты с индексом CIA в интервале 80-100 показывают высокую степень выветривания. Это является условием для образования большого количества алюминиевых глинистых минералов (таких, как каолинит), которые формируются в течение интенсивности химического выветривания в обстановках теплого и влажного климата. Самый большой разброс значений CIA соответствует аргиллитам ямпольских слоев с разницей в 26 единиц, а минимальный – аргиллитам ломозовских слоев с разницей в 9,3 единицы. Анализ поведения индекса интенсивности химического выветривания аргиллитов в слоях по скважинам показывает, что снизу вверх по разрезу отмечается закономерный рост значений CIA, кроме показателей, отвечающих аргиллитам ямпольских, лядовских и бронницких слоев, где отмечается обратная тенденция. Для пород каниловской серии распределение индекса зрелости пород CIA более ровное по сравнению с показателем индекса могилев-подольской серии и варьирует в пределах 72,4-82,6. Наибольшая разница в 10,2 единицы в показателях CIA отвечает пилиповским слоям, являющимися базальными для слоев каниловской серии, а минимальные – поливановским слоям с разницей в 1,3 единицы. Какой-либо закономерности в распределении индекса CIA снизу вверх по разрезу в скважинах для аргиллитов в слоях каниловской серии не отмечается, за исключением кривчанских и поливановских слоев, где зафиксировано закономерное понижение CIA вверх по разрезу. Подобные значения индекса CIA в пределах 73,0-83,2 и разницей в 10,2 единицы отвечают аргиллитам хмельницкой свиты кембрия.

Индекс зрелости осадков (ICV) демонстрирует широкий диапазон значений для аргиллитов могилев-подольской серии. В целом, значение ICV более 1 говорит о незрелости осадков, что характерно для тектонически активных обстановок. Индекс ICV со значением более 1 отвечает аргиллитам лядовских, бернашевских, бронницких, зиньковских слоев могилев-подольской серии, содержащим в своем составе вулканогенный материал, а также аргиллитам хмельницкой свиты. Для аргиллитов каниловской серии индекс зрелости осадков колеблется от 0,46 до 0,92. Минимальная разница с показателем 0,12 единиц индекса ICV соответствует дурняковским, а максимальная в 0,34 единицы – пилиповским слоям.

Индекс выветривания CIW возрастает с ростом степени разложения исходных пород. Максимальный разброс значений характерен для аргиллитов ямпольских слоев могилев-подольской серии. Максимальную степень разложения исходных пород (порядка 98 единиц) имеют аргиллиты лядовских, зиньковских, калюсских слоев могилев-подольской серии, а также аргиллиты хмельницкой серии кембрия.

Индекс степени преобразования плагиоклазов (PIA) фиксируется в диапазоне 65,5-98,6 для аргиллитов могилев-подольской серии. Высокие значения PIA указывают на то, что большая часть плагиоклазов трансформировалась в глинистые минералы. Наибольший разброс значений характерен для аргиллитов лядовских, бернашевских, бронницких, зиньковских слоев и колеблется в диапазоне от 15 до 26 единиц, а также для аргиллитов хмельницкой свиты с разницей в 47,1 единицы. Индекс PIA аргиллитов каниловской серии фиксируется в диапазоне от 80,0 до 92,3 единицы. PIA иллюстрирует различную степень преобразования плагиоклазов – чем больше значения индекса PIA, тем выше степень разложения плагиоклазов в области сноса и тем более гумидными были климатические обстановки в области питания.

Применение дополнительных индексов выветривания WR, WI-1, WI-2, которые также используются для определения степени химического изменения различных минералов, подтвердили ранее сделанные выводы.

Отношение (K_2O/Al_2O_3) определяется интенсивностью процессов химического выветривания в области размыва. Калий входит в состав полевых шпатов и накапливается при их разрушении в континентальных отложениях в условиях засушливого климата. Во влажном климате он переносится в виде растворов и взвеси и концентрируется в морских и озерных осадках. Алюминий связан с глинистой частью пород, и его содержание в осадках увеличивается в сторону открытого бассейна. Низкие значения калиевого модуля характерны для континентальных осадков, тогда как в прибрежно-морских и пелагических отложениях его значение увеличивается.

Анализ степени переотложенности пород показал, что для аргиллитов лядовских, бернашевских, бронницких и зиньковских слоев характерно повышенное значение отношения K_2O/Al_2O_3 , превышающие 0,3 единицы, что свидетельствует о выведении в зону денудации свежего материала (в том числе вулканогенного).

При интерпретации полученных данных важно правильное понимание роли рециклинга в формировании верхневендских и нижнекембрийских аргиллитов на юго-западной окраине ВЕП (Днестровский перикратонный прогиб). Учитывая критерии R. Cox, D. Lowe [13], а также K.C. Condie et al. [12], в качестве граничного параметра между осадками, состоящими из тонкой алюмосиликокластики, не подвергшейся интенсивному рециклингу и, напротив, подвергшейся ему, используется величина отношения $K_2O/Al_2O_3 = 0,2$. Как видно из табл. 3, ямпольские слои могилев-подольской серии и шебутинецкие, кулешовские, староушицкие и поливановские слои каниловской серии «не пересекают границу параметра». Несколько превышая его, отвечают аргиллиты пилиповских, кривчанских и комаровских слоев каниловской серии. Накопление же остальных аргиллитов верхнего венда и нижнего кембрия произошло при значительном преобладании процессов рециклинга обломочного материала.

Выводы. Таким образом, комплексный литолого-геохимический анализ аргиллитов верхнего венда и нижнего кембрия на юго-западной окраине ВЕП (Днестровский перикратонный прогиб) позволил создать модель процессов осадконакопления и реконструировать основные особенности (характер поступавшей в бассейн алюмосиликокластики, палеоклимат, состав источников сноса, степень химического выветривания, окислительно-восстановительные обстановки и т.д.) бассейна осадконакопления.

Различия минеральных постседиментационных ассоциаций в аргиллитах свидетельствуют об участии разнообразных по составу пород в питающих провинциях с различной степенью разложения исходных пород, вплоть до кор выветривания и пирокластического материала и о многообразии условий их преобразования.

Установлено, что «камуфлированная пирокластика» распространена в докембрийских и нижнекембрийских отложениях юго-западной окраины ВЕП практически повсеместно. Источниками сноса послужили породы различного состава – от ультраосновного до кислого.

1. Ван А.В. Диагностика вулканокластического материала по продуктам его изменения / А.В. Ван, Е.А. Предтеченская // Материалы Всерос. совещ. с междунар. участием «Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах», ИГ Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 2012. – С. 83-85.
2. Лазаренко Є.К. Мінералогія Поділля / Є.К. Лазаренко, Б.І. Сребродольський. Львів. 1969. – 345 с.
3. Маслов А.В. Синорогенные глинистые породы: химический состав и палеотектоника / Маслов А.В., Мизенс Г.А., Подковыров В.Н. [и др.] // Материалы VII Всерос. литолог. совещ. «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории» – Новосибирск, 2013. – С. 245-250.
4. Сокур Т.М. Каолининовая и карбонатная диагенетическая минерализация в аргиллитах венда на юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы как индикатор петрогенеза / Т.М. Сокур // Материалы XI Съезда РМО «Современная минералогия: от теории к практике»– С.-Пб, 2010. – С. 271-273.
5. Сокур Т.М. Франколит – минерал-индикатор литогенеза аргиллитов верхнего венда на юго-западном склоне Восточно-Европейской платформы / Т.М. Сокур // Материалы Росс. совещ. с международным участием «Минеральные индикаторы литогенеза». – Сыктывкар, 2011. – С. 202-204.
6. Сокур Т.М. Литологические и геохимические особенности аргиллитов верхнего венда и нижнего кембрия юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы // Т.М. Сокур // Наук. пр. ДНТУ. Сер. гірн.-геол. – 2012. – Вип. № 16 (206). – С. 12-19.
7. Сокур Т.М. Петрохимическая диагностика вулканогенных пород верхнего протерозоя юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы / Т.М. Сокур // 36. наук. пр. ІГН НАН України. – 2012. – Вип. 5– С. 91-95.
8. Сокур Т.М. Особенности литиевой минерализации в докембрийских отложениях на юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы / Т.М. Сокур // Минералогия во всем пространстве сего слова: проблемы укрепления минерально-сырьевой базы и рационального использования минерального сырья: Материалы конф. – С.-Пб., 2012. – С. 64-66.
9. Сочава А.В. Геохимия верхневендских отложений Русской платформы / Сочава А.В., Коренчук Л.В., Пиррус Э.А., Фелицын Ю.Б. // Литология и полез. Ископаемые. – 1992. – № 2. – С. 71-89.
10. Юдович Я.Э. Основы литохимии / Юдович Я.Э., Кетрис М.П. – С.-Пб.: Наука, 2000. – 479 с.
11. *Chittleborough, D.J.*, 1991. Indices of weathering for soils and paleosols formed on silicate rocks // *Australian Journal of Earth Sciences*, 38, 115–120.
12. *Condie K.C., Lee D., Farmer G.L.* Tectonic setting and provenance of the Neoproterozoic Uinta Mountain and Big Cottonwood groups, northern Utah: constraints from geochemistry, Nd isotopes, and detrital modes // *Sed. Geol.* – 2001. – Vol. 141-142. – P. 443-164.
13. *Cox R., Lowe D.* A conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover // *J. Sed. Res.* – 1995. – Vol. A65. – P. 1-12.
14. *Darmody, R.G., Thorn, C.E., Allen, C.E.*, 2005. Chemical weathering and boulder mantles, Kärkevagge, Swedish Lapland // *Geomorphology*, 67, 159–170.
15. *Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M.* Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance // *Geology*. – 1995. – Vol. 23. – P. 921-924.
16. *Harnois L.* The CIW index: A new chemical index of weathering // *Sedimentary Geology* // 1988. – Vol. 55. – P. 20-41.
17. *Herron M.M.* Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // *J. Sed. Petrol.* 1988. V. 58. P. 820–829.
18. *Le Maitre R. W. (Ed), Streckeisen A., Zanettin B. et al.* Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press., 2002. – 236 p.
19. *Nesbitt H.W., Young G.M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. – 1982. – Vol. 299. – P. 715–717.

T. Sokur

THE RECONSTRUCTION OF CONDITIONS OF THE UPPER VENDIAN AND THE LOWER CAMBRIAN ARGILLITES FORMATION FOR SOUTH-WESTERN SKIRT OF THE EAST-EUROPEAN PLATFORM BASED UPON ANALYSIS OF THE PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS

The facies own, the composition of weathering source rock, the degree of chemical weathering and the recycling were defined based upon the analysis of detailed geochemical and petrochemical characteristics of the Upper Vendian and the Lower Cambrian argillites for south-western skirt of the East-European platform (region of Dniester perikraton) make use the chemical index of alteration (CIA), the chemical index of weathering (CIW), plagioclase index of alteration (PIA), the weathering indexes (WR, WI-1, WI-2) and K_2O/Al_2O_3 ratios for the paleogeographical and paleogeodynamical reconstructions.

Key words: argillites, geochemistry, petrochemistry, the Upper Vendian, the Lower Cambrian, the East-European platform.

Т.М. Сокур

РЕКОНСТРУКЦІЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ АРГІЛІТІВ ВЕРХНЬОГО ВЕНДУ ТА НИЖНЬОГО КЕМБРІЮ НА ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ОКРАЇНІ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ ПЕТРОХІМІЧНИМИ МЕТОДАМИ

На основі детальної петрографічної та геохімічної характеристик аргілітів верхньовендського і нижньокембрійського комплексів південно-західної країни Східноєвропейської платформи (Дністровський перикратонний прогин), використовуючи хімічні індекси вивітрювання (CIA), (CIW), індекс ступеня перетворення плагіоклазів (PIA), індекси вивітрювання WR, WI-1, WI-2 та співвідношення K_2O/Al_2O_3 , встановлюється їх фаціальна належність, склад джерел зносу, ступінь хімічного вивітрювання, рециклінг з метою реконструкції палеогеографічних і палеогеодинамічних обстановок.

Ключові слова: аргіліти, геохімія, петрохімія, верхній венд, нижній кембрій, Східноєвропейська платформа.

Інститут геологічних наук НАН України, Київ
Сокур Тетяна Макарівна
e-mail: Sokur.1966@mail.ru

Стаття надійшла: 11.12.2013